

実験トランジスタ・アンプ設計講座

黒田 徹

●実用技術編

第10章 回路シミュレータ SPICE 入門 (22)

オペアンプ OPA 604

前回は、EL 34 シングル・パワー・アンプをシミュレーションしました。EL 34 のドライブに要する信号電圧は約 $40\text{ V}_{\text{p-p}}$ です。一方、多くの IC オペアンプの電源電圧の絶対最大定格は 36 V ($\pm 18\text{ V}$)、あるいは 44 V ($\pm 22\text{ V}$) ですから、EL 34 を IC オペアンプでドライブすることは困難です。そこで、今回は真空管オペアンプ K 2-W でドライブしたわけです。

ただし K 2-W はとっくの昔に製造中止ですから、K 2-W 相当回路を自作しなければなりません。当然のことながら、全回路はたいへん複雑になります。

もし高耐压の IC オペアンプがあれば、アンプの製作はとても容易になります。耐压が 100 V 以上の IC オペアンプは非常に高価ですが、EL 34 のドライブ電圧は $40\text{ V}_{\text{p-p}}$ もあれば十分ですから、 50 V 程度の耐压のオペアンプでよいはずですが。

実は、格好のオペアンプがあります。旧バーブラウン製で、現在は TI 社から発売されている FET 入力型オペアンプ OPA 604 です。

OPA 604 の耐压は規格によると 50 V です。第1表に OPA 604 の主要電気的特性を示します。データ・シートによれば、OPA 604 はきわめて低ひずみ、かつ全帰還で安定です (第1図)。半導体パワー・アンプのドライブ段に用い好結果を得た体

験から、真空管のドライブにも使えると判断しました。

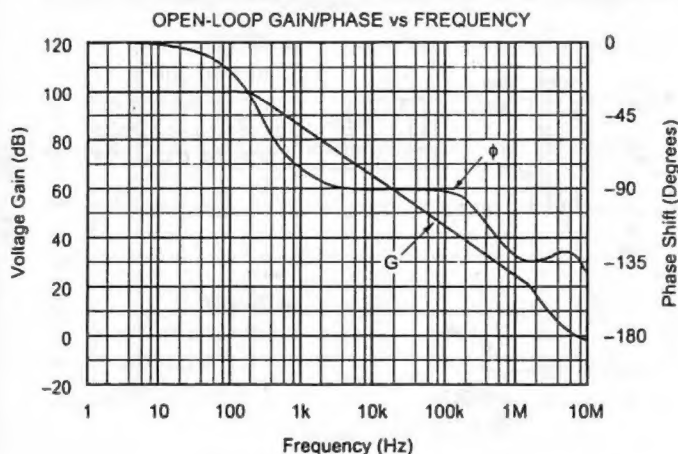
IC オペアンプ・ドライブの EL 34 シングル・アンプ

前号のオペアンプ K 2-W を OPA 604 に置き換えるという方針で、回路を設計しました。SIMetrix で作成した回路図を第2図に示します。回路構成は前号のパワー・アンプと同じです。

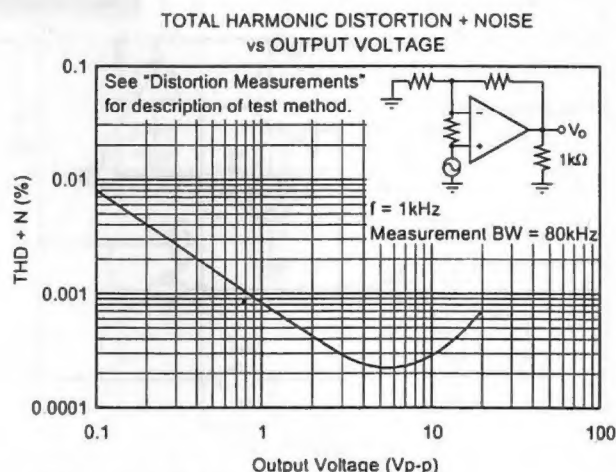
ただし、今回は R 3 の値を $2\text{ k}\Omega$ → $1\text{ k}\Omega$ に減らし、クローズド・ループ・ゲインを約 6 dB 増やしています。つまり、帰還量を減らしています。R 3 を $2\text{ k}\Omega$ にすると安定性が低下します。

OPA 604 のデバイス・モデル OPA 640 E/BB は、下記のサイト

<http://www.orcadpcb.com/pspice/models.asp?bc=F>



〈第1図〉 OPA 604 のオープン・ループ・ゲイン (ボーデ線図) と出力ひずみ率特性 (データ・シートより)



	条件	最小	標準	最大	単位
オフセット電圧	入力 平均ドリフト 電源抑圧比		± 1 ± 8	± 5	mV $\mu V/^{\circ}C$ dB
入力バイアス電流	$V_{CM}=0 V$		50		pA
入力オフセット電流	$V_{CM}=0 V$		± 3		pA
雑音 入力電圧雑音	$f=10 \text{ Hz}$		25		mV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
	$f=1 \text{ kHz}$		11		//
	$f=10 \text{ kHz}$		10		//
電圧雑音 (BW=20~20 kHz)			1.5		μV_{p-p}
電流雑音密度 ($f=0.1 \text{ Hz} \sim 20 \text{ kHz}$)			4		fA/ $\sqrt{\text{Hz}}$
コモン・モード抑圧比	$V_{CM}=\pm 12 V$	80	100		dB
入力インピーダンス 差動			$10^{12}/8$		Ω/pF
コモン・モード			$10^{12}/10$		//
オープン・ループ利得	$V_o=\pm 10 V$ $R_L=1 \text{ k}\Omega$	80	100		dB
周波数特性 利得帯域幅	$G=100$		20		MHz
スルーレイト	$20V_{p-p}, R_L=1 \text{ k}\Omega$	15	25		V/ μs
出力電圧		± 11	± 12		V
出力電流	$R_L=600 \Omega$		± 35		mA
回路短絡電流	$V_o=\pm 12 V$		± 40		mA
出力抵抗 (オープン・ループ)			25		Ω

〈第1表〉
TI (旧) パー
ラウン) OPA
604 オペアン
プの主要電気
的特性
($V_s=\pm 15$
V, $T_a=25^{\circ}C$)

ライブラリ burr_brn.lib をダウン
ロードします。そして burr_brn.lib
を C:\Program Files\SIMetrix
Intro42\Models フォルダにコピ
ーします。

〔手順2〕

SIMetrix.exe を起動して、コマ
ンド・シェルを呼び出します。そし
て Explore を用い、¥SIMetrix
Intro42\Models フォルダのファ
イル burr_brn.lib をコマンド・シェ
ルのメッセージ・ウィンドウにドラ
ッグ&ドロップします (第3図)。

〔手順3〕

コマンド・シェルのメニューから
[File]→[Model Library]→
[Associate Models and Symbols
.....] をクリックします (第4図)。

において公開されているライブラ
リ・ファイル burr_brn.lib に収めら
れているものです。このライブラリ
には OPA 604/BB というモデル
もありますが、このモデルはオペア
ンプの入力容量を考慮しないので、
AC 解析の信頼度が落ちます。

シミュレーションには、オペアン
プの入力容量を考慮した OPA 604
E/BB の使用を推奨します。

ちなみに、604 E の E は, Enhanc
ed model (強化モデル) を意味しま
す。Enhanced model は雑音特性も
正確にシミュレーションできます。

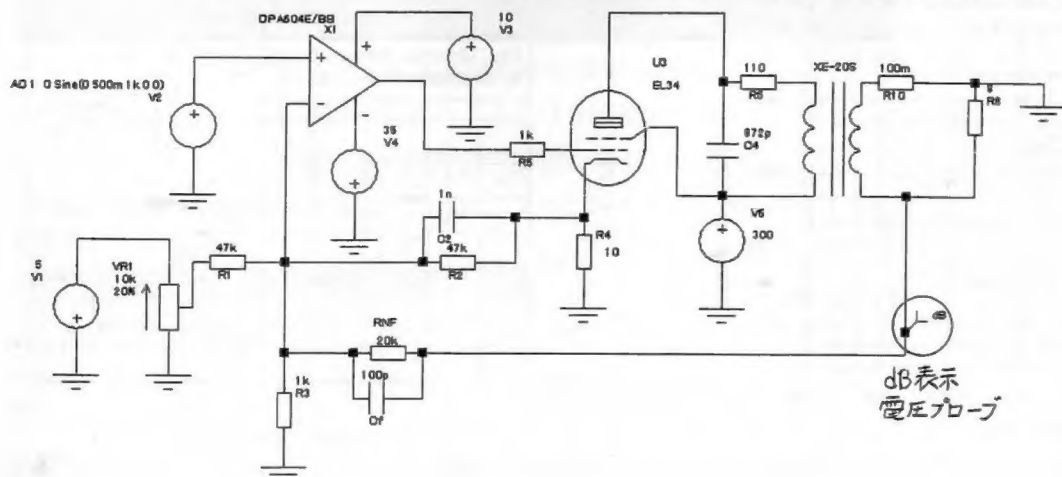
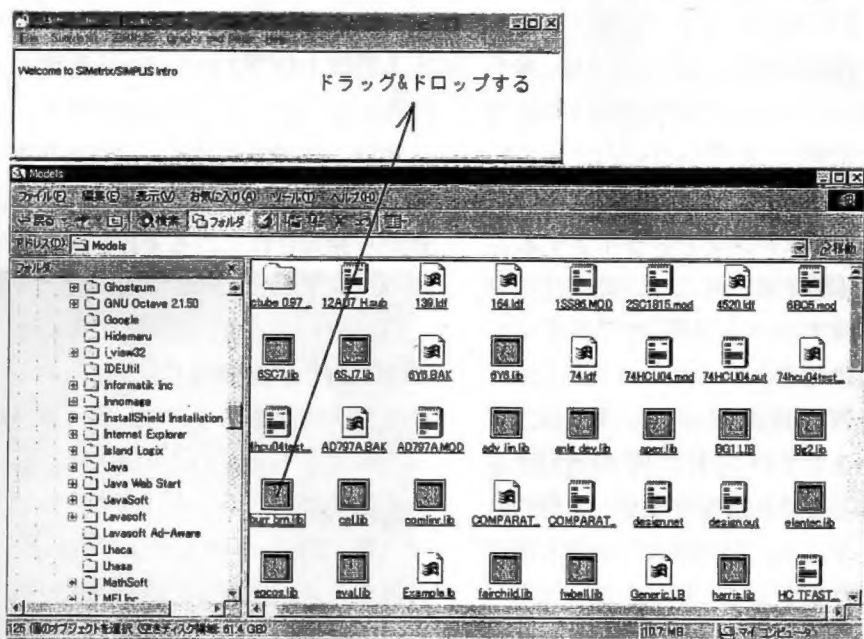
Burr_brn.lib の組み込み

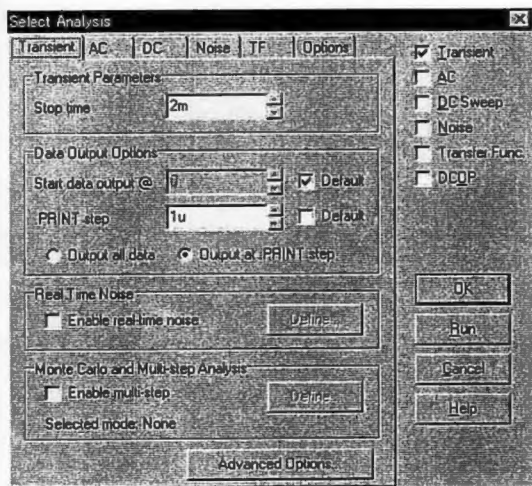
SIMetrix で OPA 604 E/BB を
使うには、デバイス・モデルを登録

しなければなりません。手順を以下
に示します。

〔手順1〕

上記の Web サイトからモデル・





〈第12図〉 10 kHzのひずみ率をシミュレーションするための過渡解析の設定

過渡解析の設定は第9図のようにしてください。Output all data/Output at .PRINT stepの選択はかならず後者を指定してください。

過渡解析を実行すると、第10図のグラフが得られます。このグラフ・ウィンドウのメニューから[Measure]→[B Plot Fourier of Selected Curve]をクリックしてください。第11図のグラフが得られます。

基本波 (1 kHz) : 10.6 V

2nd (2 kHz) : 1.98 mV

3rd (3 kHz) : 4.41 mV

と読み取れます。したがって、

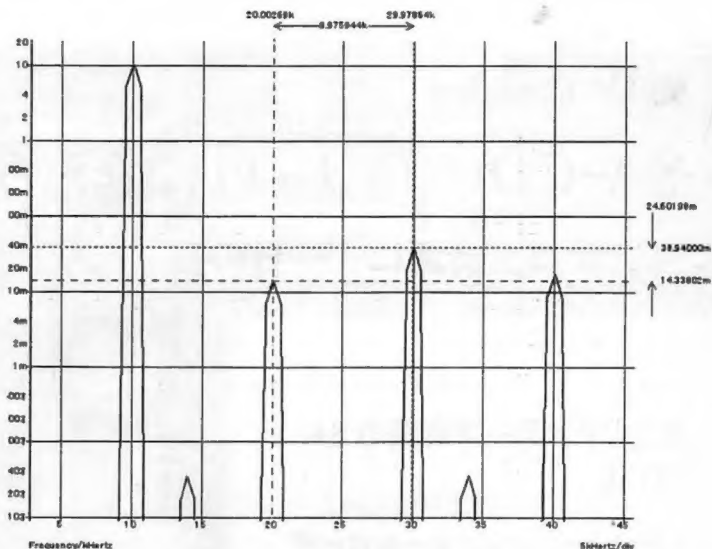
第2調波ひずみ率=0.019%

第3調波ひずみ率=0.042%

です。真空管アンプとしては、きわめて低ひずみといえます。

V2の周波数を10 kHzに設定し、過渡解析の設定を第12図のよ

〈第13図〉
入力10
kHzのとき
の過渡
解析の結果



うに定めてください。Output all data/Output at .PRINT stepの選択は、ここでもならず後者を指定します。

過渡解析に続くフーリエ解析結果を第13図に示します。

基本波 (10 kHz) : 10.6 V

2nd (20 kHz) : 14.3 mV

3rd (30 kHz) : 38.9 mV

と読み取れます。したがって、

第2調波ひずみ率=0.13%

第3調波ひずみ率=0.37%

です。30 kHzにおける帰還量は数dBに過ぎませんが、意外に低ひずみです。

(3) 出力インピーダンス

本パワー・アンプの出力インピーダンスをシミュレーションしましょう。第8図においてV2を除去し、オペアンプの非反転入力端子を接地

します。それから、負荷抵抗 $R = 8 = 8 \Omega$ 除去し、「AC電流源」(メニューの[Place]→[Sources]→[AC Current Source]から呼び出す)を配置します(第14図)。

AC電流の値は既定の1とします(1 Aとしてはいけません、1 Aは1 attoアンペアすなわち 10^{-18} アンペアと解釈されます)。

AC解析を設定し実行してください。第15図が得られます。

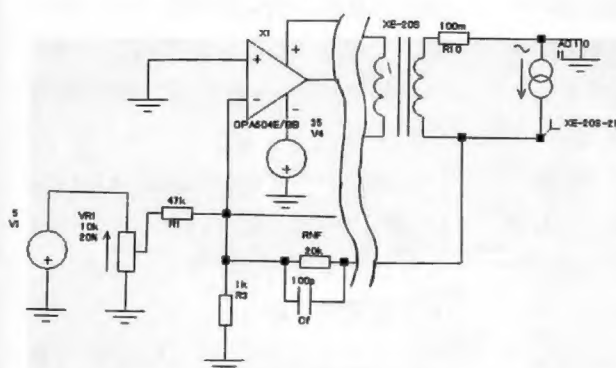
RNF=20 kΩの場合の出力インピーダンスは、1 kHzにおいて 0.23Ω 、20 kHzにおいて 1.5Ω と読み取れます。

◆参考文献

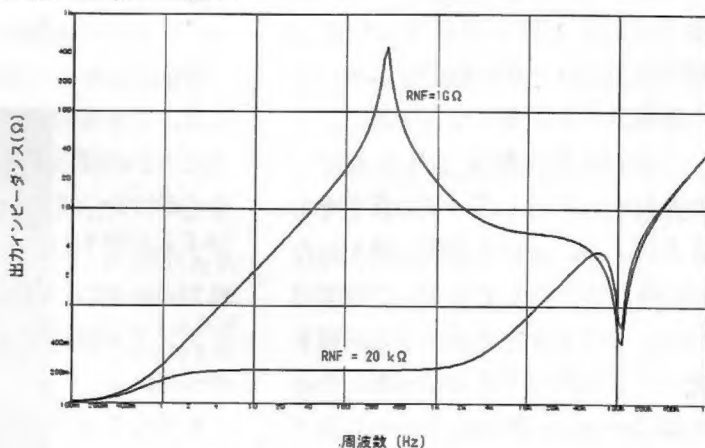
(1) 棚木義則編著「電子回路シミュレータ PSpice 入門編」pp.154-157, CQ出版機, 初版2003年11月。

◆引用文献

TI社 OPA 604 データ・シート



〈第14図〉 出力インピーダンス測定時の回路接続



〈第15図〉 EL 34アンプの出力インピーダンス特性